类金刚石碳剥离膜的制备及其寿命研究

樊启文，孟波，王华，张榕

(中国原子能科学研究院核物理研究所，北京 102413)

摘要：采用磁过滤阴极真空弧（FCVA）技术，结合交流碳弧（ACCA）技术和松弛技术，制备了~5 μg/cm^{2}的自支撑类金刚石碳（DLC）剥离膜。通过 XP2U 电子天平、扫描电子显微镜（SEM）、拉曼（Raman）谱仪和 X 光电子谱（XPS）仪测试分析 DLC 膜的均匀性和微观结构，结果显示制备的 DLC 膜表面光滑、基本不含液滴、为典型的非晶 DLC 膜、sp^{3}杂化键超过 70%，Φ100 mm 的范围的 DLC 膜最大不均匀性为 8.82%。通过北京 HI-13 串列加速器提供的系列重离子束测试研究 DLC 剥离膜的寿命。结果显示，松弛后的 DLC 剥离膜寿命约为松驰前的 3 倍；对于 $^{63}Cu^-$和 $^{197}Au^-$离子束（加速电压~9 Mv、低能端流强~1 μA），DLC 剥离膜寿命分别为碳弧碳剥离膜寿命的 4 倍和 13 倍；对于 $^{107}Ag^-$、$^{70}Ge^-$、$^{48}Ti^-$、$^{28}Si^-$和 $^{127}I^-$离子束，DLC 剥离膜寿命为碳弧碳剥离膜寿命的 2.6～10 倍，并且离子越重、束流越强，DLC 剥离膜的寿命对比碳弧碳剥离膜寿命的优势就越大；DLC 剥离膜寿命与基衬偏压有一定关系，目前的测试结果显示，随基衬偏压的加大，剥离膜寿命呈现先升高后降低的大概趋势，-400 V 左右的基衬偏压下 DLC 剥离膜寿命最长。

关键词：类金刚石碳；剥离膜；松弛；寿命

中图分类号：O484.1　　**文献标志码：A**　　**doi：**

北京 HI-13 串列加速器国家实验室是我国重要的核物理实验基地之一，该加速器能否高效率地运行对我国核物理基础研究的发展至关重要。近年来，由于核物理实验的需求，在该加速器上引出越来越多的大流强低能重离子束，对剥离膜的质量和寿命提出了更高要求，过去使用碳弧法制备的普通碳剥离膜[1]，用于这些大流强低能重离子的剥离时寿命太短，例如在遇到 $^{197}Au^-$离子（加速电压 9~11 Mv、低能端流强~1 μA）的剥离时寿命为 4~8 min，而物

收稿日期：yyyy-mm-dd; **修改日期：**yyyy-mm-dd

基金项目：国防科技工业抗辐照应用技术创新中心创新基金资助项目(KFZC2021020201)；国家自然科学基金资助项目(11205251)

作者简介：樊启文(1980—)，男(汉族)，江西南昌人，正高级工程师，博士，核反应靶与剥离膜制备技术研究，E-mail: fanqiwen0926@163.com

理用户一个实验的束流时间通常为 100 h。加速器中安装的剥离膜数量有限，剥离膜的寿命短，直接导致物理实验供束不流畅，并且缩短了加速器的维护周期，进而降低了加速器运行效率，并提高了加速器运行成本，同时也降低了物理实验的工作效率。长寿命碳剥离膜的研究制备一直都是国际制靶行业研究的热点和难点，在引出大流强低能重离子束时，国外许多加速器实验室也遇到剥离膜寿命短的问题。为提高碳剥离膜的寿命，国内外同行们开发了许多制备碳剥离膜的技术，诸如接触火花法[2]、电子轰击法[3]、碳弧法[4-8]、离子束溅射法[9-10]、裂解乙烯法[11-12]、激光刻蚀法[13-15]和直流辉光溅射法[16-18]等，试图找到更有效的方法和工艺来制备长寿命的碳剥离膜。其中有不少加速器实验室使用类金刚石碳（Diamond-like Carbon，简称 DLC）剥离膜代替普通碳剥离膜，在寿命上取得了较好效果[13-18]。

本文采用磁过滤阴极真空弧（filtered cathodic vacuum arc，简称 FCVA）技术，结合碳弧技术和松弛技术，制备了质量厚度~5 μg/cm^2 的自支撑 DLC 剥离膜，测试分析了其表面形貌和微观结构，并通过北京 HI-13 串列加速器提供的系列低能重离子束测试分析了 DLC 剥离膜的寿命，取得了非常明显的效果。

1 实验装置和实验方法

采用磁过滤阴极真空弧技术，结合交流碳弧技术和松弛技术，制备北京 HI-13 串列加速器所需的~5 μg/cm^2 的自支撑 DLC 剥离膜。1 mm 厚的抛光镜面不锈钢片作为镀膜基衬，甜菜碱作为脱膜剂。首先采用交流碳弧技术沉积~1 μg/cm^2 的普通碳膜作为脱膜剂的保护层，然后用双 90°弯管 FCVA 技术沉积~4 μg/cm^2 的 DLC 膜，涂上一层薄火绵胶后在去离子水中进行脱膜处理，最后转移固定至专用剥离膜支架上进行松弛和烘干处理。剥离膜支架孔径为 13mm，即膜的原始尺寸为Φ13mm，松弛下拉 2 mm。

图 1 为碳弧装置示意图。该装置是由 DM-450A 镀膜机改造而成，主要有传动部分，工件架，控厚系统，电源和 DM-450A 镀膜机的主体构成。当转动工作台上的手轮时，通过链条、齿轮和伞轮，使传动轴绕轴线旋转，并带动滑动架在滑轨上移动，调节两碳电极间的距离，达到起弧和断弧目的。用交流碳弧法制备碳保护膜时，选择合适的电弧电流是十分重要的。电流太小，不能引燃起弧或电弧只燃烧一瞬间就熄灭；电流太大，使碳棒温度急剧上升，并导致大量碳颗粒飞溅而使膜层产生大量针孔。研究测量了碳电极直径与电弧电流的对应关系，列于表 1。工作中，结合沉积碳膜的效果，选择的碳棒直径为 6 mm，电弧电流为 90 A。镀膜厚度由石英晶体膜厚监控仪在线监控。

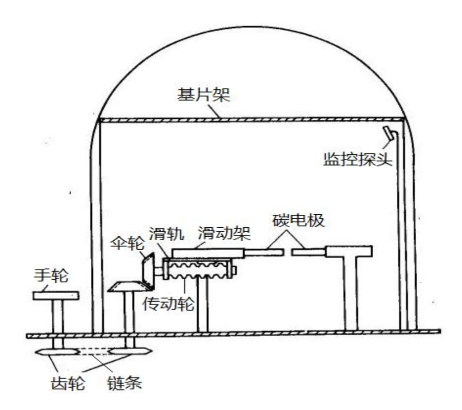


图 1　碳弧装置示意图

表 1　电极直径与电弧电流的对应关系

碳电极直径/mm	3	4	5	6	8	10
电弧电流/A	40	50	70	90	110	160

图 2 为制备 DLC 膜的 FCVA 装置示意图，其核心部件为弧源和双 90°磁过滤弯管过滤器，文献[19-20]中有该装置的详细介绍。表 2 为 FCVA 法沉积 DLC 膜的最新工艺参数。镀膜厚度通过时间监控，图 3 为沉积时间与 DLC 膜厚度的关系，厚度随时间的增长近似线性增加。

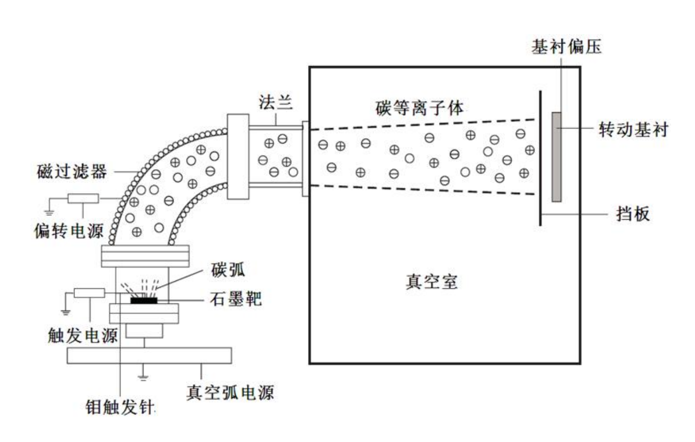


图 2　磁过滤阴极真空弧装置示意图

表 2　沉积 DLC 膜的工作参数

弧流/A	弧压/V	偏转电压/V	偏转电流/A	基衬偏压/V	占空比	本底真空/Pa
80	28~33	24	1.6	-400	20%	4×10^{-4}

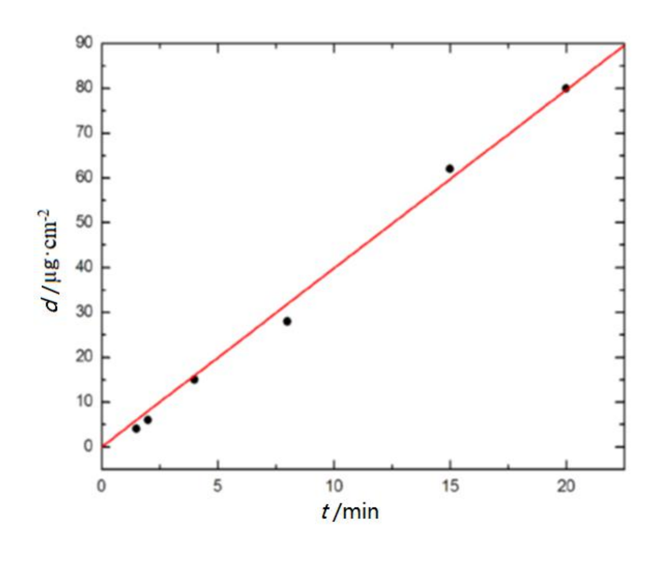


图 3　沉积时间与生长的 DLC 膜厚度的关系

2 均匀性测试与分析

本工作测试分析有效镀膜尺寸为 100 mm×100 mm 范围内的 DLC 膜的均匀性，测试方法采用挂片镀膜天平称重法。具体如下：（1）在 150 mm×150 mm×3 mm 的铝质基板上的 100 mm×100 mm 范围内通过数控机床均匀分布地加工 36 个台阶孔（通孔直径为 13 mm，台阶直径为 15 mm，孔间距为 2 mm），如图 4 所示；（2）在 36 个基板台阶孔上安置 Al 箔（～10 μm），通过 XP2U 型千万分之一精密电子天平（0.1 μg）测量沉积 DLC 膜前后的每片 Al 箔的质量，并计算出每片 DLC 膜的质量厚度，最后计算分布在 36 个台阶孔位置的 DLC 膜的均匀性，并用此来表征 100 mm×100 mm 范围内的 DLC 膜均匀性。测试数据列于表 3。由表 2 中数据可知：（1）在上述工艺条件下，得到的 DLC 膜平均厚度为 6.7 μg/cm^2，厚度分布中间厚，周围薄，四边角位置的 DLC 膜最薄；（2）对于在有效镀膜尺寸为 100 mm×100 mm 的基衬上沉积 DLC 膜，最大不均匀性为 14.9%，若考虑Φ100 mm 的范围（即舍弃四角的四片 DLC 膜），则最大不均匀性为 8.82%。

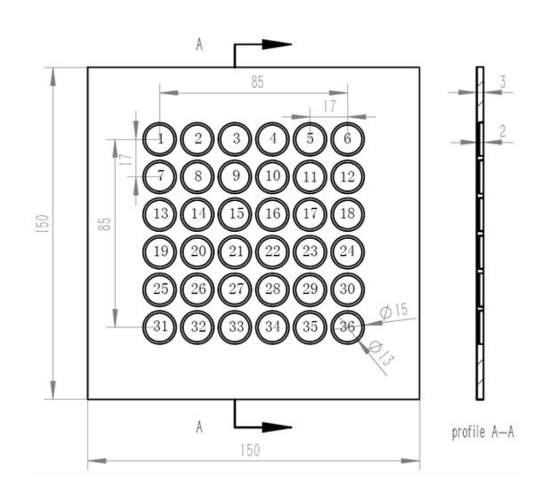


图 4　基板台阶孔分布

表 3　DLC 膜均匀性的测试数据

	第一列	第二列	第三列	第四列	第五列	第六列	行平均
第一行	5.7	6.4	6.5	6.5	6.3	5.9	6.2
第二行	6.8	7.0	7.1	7.2	6.9	6.6	6.9
第三行	6.8	6.9	7.4	7.0	7.4	6.6	7.0
第四行	6.6	6.8	7.4	7.1	7.1	6.8	7.0
第五行	6.5	7.2	7.0	7.2	7.0	6.7	6.9
第六行	5.9	6.2	6.3	6.6	6.4	6.1	6.3
列平均	6.4	6.8	7.0	6.9	6.9	6.5	
总平均值：6.7；去除四角后的平均值：6.8；单位为μg/cm^2							

3 DLC 膜微观结构的测试分析

3.1 表面形貌

由于真空弧产生的等离子体中存在大颗粒或微粒，这样直接沉积的碳膜性能大大降低，磁过滤器能将大部分不带电的大颗粒过滤掉。首先对 90°磁过滤器的过滤效果进行了测试。分别在安装双 90°磁过滤弯管、单 90°磁过滤弯管和不安装磁过滤弯管三种情况下，在厚度为 1 mm 的单晶 Si 片上进行 DLC 膜的沉积试验。通过扫描电子显微镜（SEM）观察过滤大颗粒的效果，如图 5 所示。由图 5 可见，无磁过滤弯管时沉积的薄膜中含有大量的碳颗粒；单 90°磁过滤弯管时含有少量的碳颗粒；双 90°磁过滤弯管时，几乎没有大颗粒的污染。因

此，制备 DLC 剥离膜时，采用双 90°磁过滤弯管进行过滤。

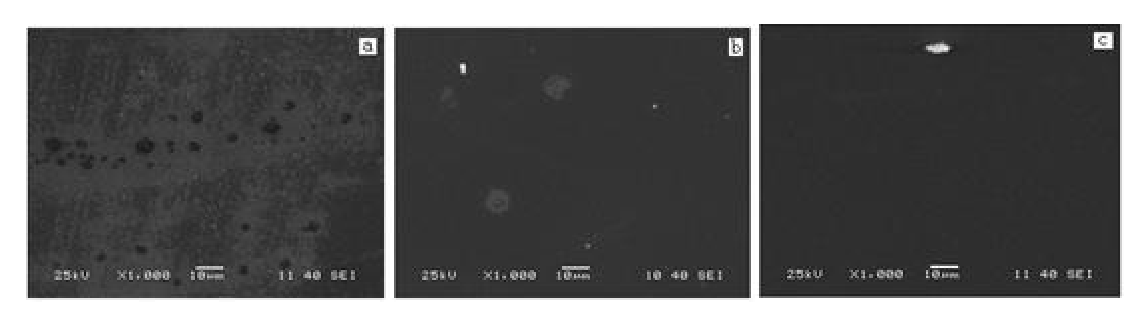


图 5　DLC 膜 SEM 图（a-无过滤，b-单 90°过滤，c-双 90°过滤）

3.2 Raman 和 XPS 光谱分析

Raman 光谱是在型号为 Nexus 670 的显微共焦 Raman 光谱仪上测试的，XPS 光谱是在型号为 AXIS ULTRA^{DLD} 的 XPS 谱仪上测定的。图 6 是在硅片上沉积的 DLC 膜的可见光（波长为 623.8 nm）Raman 光谱（a）和 ClsXPS 谱图（b）。由图 6（a）可见，在 1100~1900 cm^{-1} 之间存在一不对称的宽峰，Raman 谱图通过高斯分解为两个中心分别位于 1360.9 cm^{-1}（D 峰）和 1548.6 cm^{-1}（G 峰）（与单晶石墨 G 峰相比，明显向低频方向漂移），D 峰和 G 峰的积分强度之比 I_D/I_G 为 0.78，这是典型的非晶 DLC 膜的 Raman 光谱[20,21]。通过 Xps Peakfit 程序对实测 DLC 膜的 ClsXPS 数据进行数据分峰拟合分析，结果显示 sp^3 键含量为 71.56%。

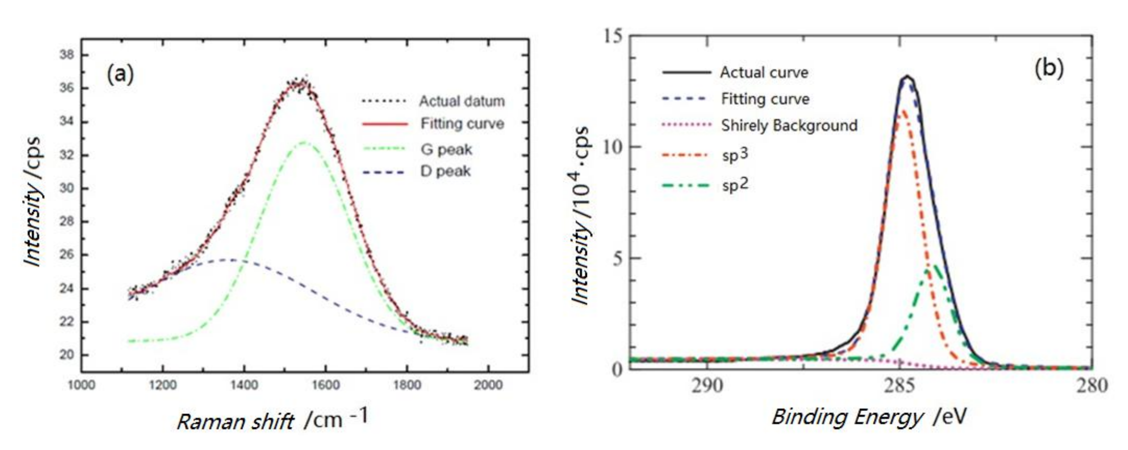


图 6　DLC 膜的 V-Raman 谱图（a）和 XPS 谱图（b）

4 DLC 剥离膜寿命的测试分析

寿命通过北京 HI-13 串列加速器提供的离子束进行测试。剥离膜寿命定义，采用国际上通用的，即在低能端入射流强不变的条件下，经过头部剥离和加速后，像点处离子束流强从

开始照射起到它下降 50%止的时间[17]。图 7 为测量剥离膜寿命的北京 HI-13 串列加速器示意图，本文研究测试的剥离膜安装在第四段加速管与第五段加速管之间的第一剥离器中，束流测量位置位于图中像点处。

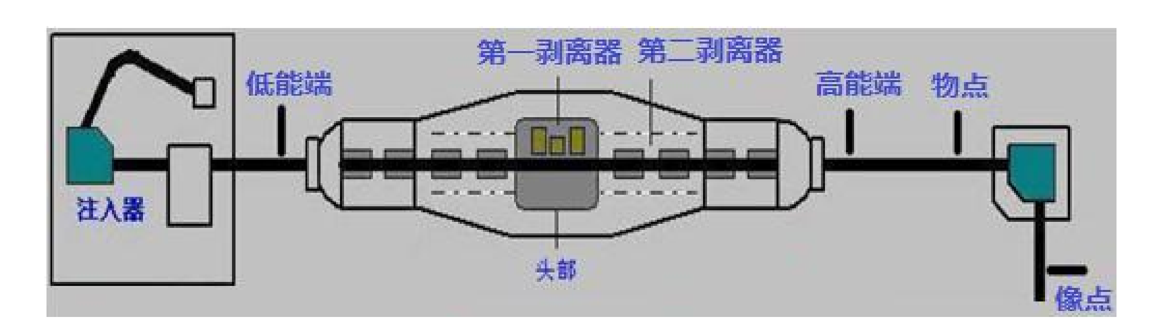


图 7　测量剥离膜寿命的北京 HI-13 串列加速器示意图

第一次测试实验用 $^{197}Au^{-}$（加速高压~9 Mv、低能端流强~1 μA）离子束对松弛前后的 DLC 剥离膜寿命进行测试，结果如图 8 所示。结果显示，松弛后的 DLC 剥离膜寿命约为松弛前的 3 倍。

第二次实验用 $^{63}Cu^{-}$和 $^{197}Au^{-}$离子束对 DLC 剥离膜和碳弧法制备的碳剥离膜寿命进行了测试，加速高压为 9 Mv 和低能端流强为 1 μA，测试结果如图 9 所示。结果显示，DLC 剥离膜寿命分别为碳弧碳剥离膜寿命的 4 倍和 13 倍。

第三次实验用 $^{107}Ag^{-}$、$^{70}Ge^{-}$、$^{48}Ti^{-}$、$^{28}Si^{-}$、$^{197}Au^{-}$和 $^{127}I^{-}$六种典型质量的离子束（头部高压和低能端流强见表 4）对 DLC 剥离膜和碳弧法制备的碳剥离膜寿命进行了测试，在头部高压和流强（低能端）不变的条件下，寿命测试结果列于表 4。从表 4 可看出，DLC 剥离膜寿命为碳剥离膜寿命的 2.6~10 倍，对于流强越大和质量越重的离子束，二者寿命差别越大。

第四次测试实验用 $^{197}Au^{-}$离子束（加速高压~9 Mv、低能端流强~0.25 μA）对不同偏压制备的 DLC 剥离膜寿命进行测试，结果如图 10 所示。从图 10 可以看出，DLC 剥离膜寿命与基衬偏压（碳离子能量）存在一定关系，随基衬偏压的加大，剥离膜寿命呈现先升高后降低的大概趋势，基衬偏压为-400 V 左右时 DLC 剥离膜寿命达到峰值，这也是我们的工艺参数中基衬偏压选择-400 V 的原因。需要说明的是，由于测量时加速器提供的束流时间的限制，本次只对每种条件制备的膜测试了一片，从测试膜的数量来讲，存在统计意义上的不确定性，因此，该测试结果为一个参考性的大概趋势结果。

在剥离膜寿命的测试中，有一个普遍性的现象就是像点处流强在开始时都呈现上升趋势，之后再逐步下降，直到该剥离膜不能用了。流强开始时呈现上升趋势的原因主要是：剥离膜制作中涂敷有一层火绵胶，刚开始随着束流对剥离膜的照射通过，剥离膜因能量的沉积而逐

步升温，升温的过程一方面去除附在其上的火棉胶（有机物）致使束流品质更好，另一方面升温过程也会修复碳膜中微小的缺陷。之后束流逐步下降，其原因是随着能量沉积至一定值后对碳膜逐步产生辐射损伤。

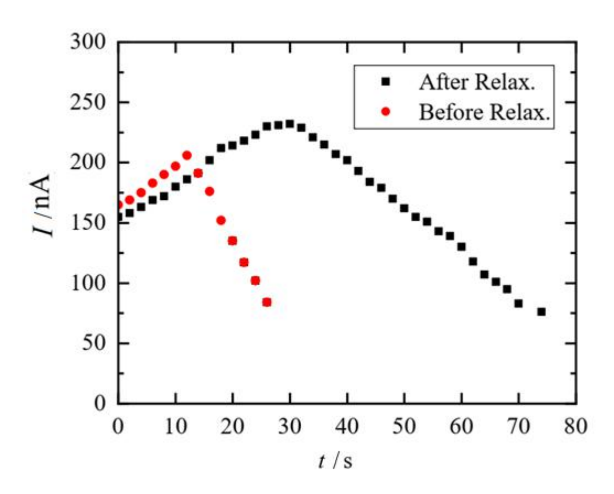


图 8　松弛前后的 DLC 剥离膜寿命曲线

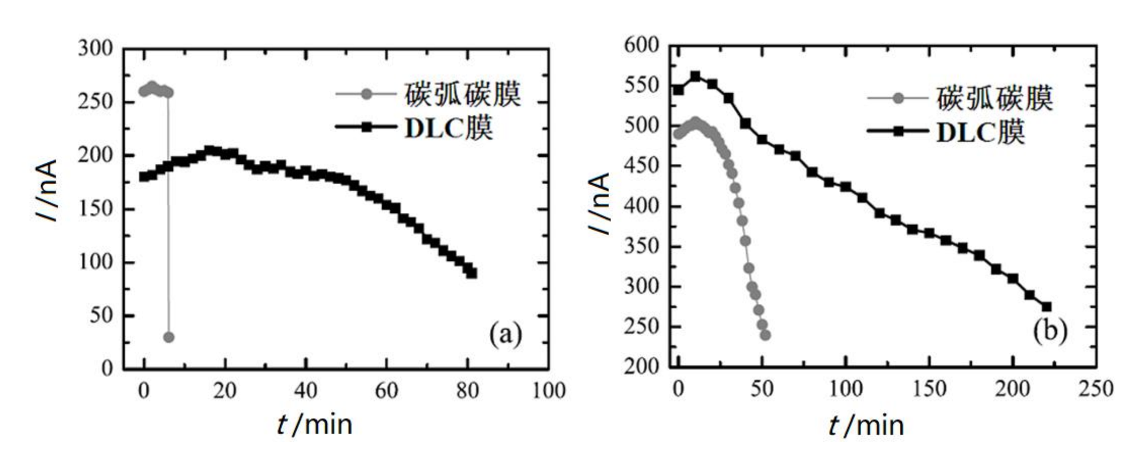


图 9　剥离膜的寿命曲线（a-$^{197}Au^-$离子束轰击，b-$^{63}Cu^-$离子束轰击）

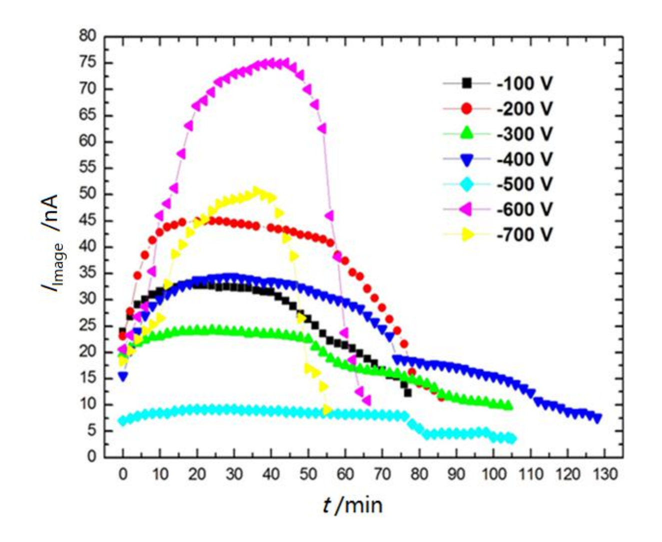


图 10　不同基衬偏压制备的 DLC 剥离膜寿命曲线

表 4　剥离膜寿命测试结果

序数	离子种类	加速高压/Mv	低能端流强	剥离膜种类	寿命/min	比较
1	$^{107}Ag^{-}$	11.7	160 nA	碳弧碳膜	40	2.8 倍
				DLC	110	
2	$^{70}Ge^{-}$	11.6	120 nA	碳弧碳膜	94	2.6 倍
				DLC	244	
3	$^{48}Ti^{-}$	10.9	250 nA	碳弧碳膜	30	2.9 倍
				DLC	88	
4	$^{28}Si^{-}$	11.3	2.5 μA	碳弧碳膜	10	3.5 倍
				DLC	35	
5	$^{197}Au^{-}$	11.7	1.1 μA	碳弧碳膜	2.5	10 倍
				DLC	25	
6	$^{127}I^{-}$	11.5	340 nA	碳弧碳膜	24	3.5 倍
				DLC	84	

备注：表中比较项中的倍数是指 DLC 剥离膜寿命除以碳弧碳剥离膜寿命所得到的数值。

5 总结

采用“磁过滤阴极真空弧+交流碳弧+松弛”的复合技术，研究制备了应用于北京 HI-13 串列加速器上的~5 μg/cm^{2}的自支撑 DLC 剥离膜。通过 XP2U 电子天平、扫描电子显微镜（SEM）、拉曼光谱仪和 X 光电子谱仪测试分析了 DLC 膜的均匀性和微观结构，结果显示双 90°弯管过滤制备的 DLC 膜表面光滑、几乎没有大颗粒污染，为典型的非晶 DLC 膜，I_D/I_G为 0.78，其中 sp^{3}键含量超过 70%，Φ100 mm 的范围的 DLC 膜最大不均匀性为 8.82%。在北京 HI-13 串列加速器上测试分析了剥离膜的寿命，结果显示，对于 $^{197}Au^{-}$离子束（加速电压 9~11 Mv、低能端流强~1 μA），经过松弛后的 DLC 剥离膜寿命约为不松驰的 3 倍；对于 $^{63}Cu^{-}$和 $^{197}Au^{-}$离子束（加速电压 9~11 Mv、低能端流强~1 μA），DLC 剥离膜寿命分别约比碳弧碳剥离膜的 4 倍和 13 倍；对于 $^{107}Ag^{-}$、$^{70}Ge^{-}$、$^{48}Ti^{-}$、$^{28}Si^{-}$和 $^{127}I^{-}$离子束，DLC 剥离膜寿命为碳弧碳剥离膜的 2.6～10 倍，并且离子越重、束流越强，DLC 剥离膜的寿命对比碳弧碳剥离膜寿命的优势就越大；DLC 剥离膜寿命与基衬偏压有一定关系，随基衬偏压的加大，剥离膜寿命呈现先升高后降低的大概趋势，-400 V 左右的基衬偏压下 DLC 剥离膜寿命最长。通过一系列研究，研制的 DLC 剥离膜已完全代替传统碳弧法制备的碳剥离膜，应用于北京 HI-13 串列

加速器中，显著提高了剥离膜的寿命，缩短了加速器的维护周期，进而提高了加速器运行效率并降低了加速器运行成本。

参考文献

[1] XU Guoji, LOU Meiling, ZHANG Gongxiang. P reparation of carbon stripping membrane[J]. Atomic science and technology, 1999 (04): 368 (in Chinese).

（许国基，楼美玲，张共祥. 碳剥离膜的制备[J]. 原子能科学技术, 1999 (04): 368. doi: CNKI:SUN:YZJS.0.1999-04-025）

[2] AVASTHI. D. K, JAIPAL.S.GARGARI. Stripper foil development at the NSC target laboratory. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A, 1991, 303: 43. doi: 10.1016/S0168-9002(91)90761-E

[3] ARMITAGE.B.H, HUGHES.J.D.H. The Enhancement on the lifetime of Carbon Stripper Foils by a Slacking Technique. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 1979, 167: 25. doi: 10.1016/0029-55X(79)90470-1

[4] SUGAI. I. Hybrid-type long-lived carbon stripper foils. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A, 1989, 282: 164. doi: 10.1016/S0168-9002(89)90132-0

[5] XU Guoji, HAO Xiuhong. Preparation of carbon foils with carbon arc metdhod[J]. Atomic science and technology, 1999 (04): 368 (in Chinese).

（许国基，郝秀红. 碳弧法制备碳膜. 原子能科学技术，1996，30(1)：73. doi: CNKI:SUN:YZJS.0.1996-01-017）

[6] ZHANG Hongbin, LU Ziwei, XU Hushan, et al. Preparation of U-shaped target frame and double-layer carbon stripping membrane[J]. Atomic science and technology, 2006 (05): 599-601 (in Chinese).

（张宏斌, 卢子伟, 徐瑚珊, 等. U 形靶框-双层结构碳剥离膜制备[J]. 原子能科学技术, 2006 (05): 599-601. doi: 10.3969/j.issn.1000-6931.2006.05.020）

[7] ZHANG Hongbin, LU Ziwei, XU Hushan, et al. Study on the structure of carbon stripping membrane[J]. Nuclear technology, 2008 (09): 689 (in Chinese).

（张宏斌，卢子伟，徐瑚珊，等. 碳剥离膜结构的研究[J]. 核技术, 2008 (09): 689. doi:10.3321/j.issn:0253-3219.2008.09.011）

[8] LIU Fengqiong, LU Ziwei, ZHANG Hongbin, et al. Development of U-shaped carbon stripping membrane for medical heavy ion accelerator[J]. Nuclear technology, 2019, 42 (10): 5 (in Chinese).

（刘凤琼, 卢子伟, 张宏斌, 等. 医用重离子加速器 U 型碳剥离膜的研制[J].核技术, 2019, 42 (10): 5. doi：

10.11889/j.0253-3219.2019.hjs.42.100201）

[9] SUGAI. I, OYAIZU. M. Carbon stripper foil preparation by ion beam sputtering with 3.5kev Kr ions. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A, 1997, 397: 137. doi: 10.1016/S0168-9002(97)00763-8

[10] SUGAI. I., TAKEDA. Y. Lifetime improvement of nitrided carbon stripper foils by ion beam sputtering with a binary gas mixture. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A, 2004, 521: 187. doi: 10.1016/j.nima.2003.11.150

[11] TOLFREE. D. W. L. A review of recent development work and measurements on carbon stripper foils. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 1982, 200: 15. doi: 10.1016/0167-5087(82)90504-X

[12] XU GUOJI, WANG JING, LUO XINGHUA, et.al. A simple preparation method for carbon stripper foils. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A, 1989, 282: 161. doi: 10.1016/0168-9002(89)90131-9

[13] DOLLINGER G， MAIER-KOMOR P. Development of laser plasma ablation-deposition techniques for carbon stripper foils[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 1991, 303: 50. doi: 10.1016/0168-9002(91)90763-G

[14] MAIER-KOMOR P，BERGMAIER A，DOLLINGER G，et al. Improvement of the preparation procedure of carbon stripper foils from the laser plasma ablation-deposition process[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 1997, 397: 131. doi: 10.1016/S0168-9002(97)00762-6

[15] MAIER-KOMOR P，DOLLINGER G，KOMER H J. Reproducibility and simplification of the preparation procedure for carbon stripper foils by laser plasma ablation deposition[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 1999, 438: 73. doi: 10.1016/S0168-9002(99)00941-9

[16] LIECHTENSTEIN V K， IVKOVA T M， OLSHANSKI E D， et al. Preparation and evaluation of thin diamond-like carbon foils for heavy-ion tandem accelerators and time-of-flight spectrometers[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 1997, 397: 140. doi: 10.1016/S0168-9002(97)00732-8

[17] LIECHTENSTEIN V K，IVKOVA T M，OLSHANSKI E D，et al. Preparation and comparative testing of advanced diamond-like carbon foils for tandem accelerators and time-of-flight spectrometers[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 1999, 438: 79. doi: 10.1016/S0168-9002(99)00662-2

[18] LIECHTENSTEIN V K，IVKOVA T M，OLSHANSKI E D，et al. Preparation and investigation of ultra-thin diamond-like carbon (DLC) foils reinforced with collodion[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2006, 561: 120. doi: 10.1016/j.nima.2005.12.178

[19] FAN QIWEN，DU YINGHUI，ZHANG RONG，et al. Preparation and investigation of diamond-like carbon stripper foils by filtered cathodic vacuum arc[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2013,

708: 78. doi: 10.1016/j.nima.2013.01.017

[20] Aisenberg S， Chabot R. Ion-beam deposition of thin films of diamond-like carbon [J]. Journal of Appled Physics，1971，42：2953-2958. doi: 10.1063/1.1660654

[21] HAN Jie-cai, ZHU Jia-qi, MENG Song-he. Tetrahedral amorphous carbon films deposited by filtered cathodic vacuum arc technology[J]. Journal of Functional Materials and Devices. 2003.6, 9 (2): 118-122 (in Chinese).（韩杰才, 朱嘉琦, 孟松鹤. 过滤阴极真空电弧法制备四面体非晶碳薄膜[J]. 功能材料与器件学报，2003.6, 9 (2): 118-122. doi:10.3969/j.issn.1007-4252.2003.02.002）

Preparation and Lifetime Research of Diamond-like Carbon Stripper Foil

FAN Qiwen，MENG Bo，WANG Hua，ZHANG Rong

(China Institute of Atomic Energy)

Abstract： The diamond-like carbon (DLC) stripper foils with ~5 μg/cm^2 in thickness were produced by using the composite technology of the filtered cathodic vacuum arc (FCVA)- alternating current carbon arc (ACCA)-relaxation technique. The uniformity of the DLC foils were measured by the XP2U balance. The results show that the maximum inhomongeneity of DLC foils in the range of Φ100mm is 8.82%. The microstructure of the DLC foils were measured by the scanning electron microscopy (SEM), Raman spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). The SEM images show that the DLC foils are smooth, and contain hardly droplets through the double 90° filters. The Raman spectrum indicates that the DLC foils are amorphous carbon films. The X-ray photoelectron spectrum indicates the sp^3 bonds of the DLC foils exceed 70%. The irradiation lifetimes of the DLC stripper foils were tested and compared with the heavy ion beams at the Beijing HI-13 Tandem Accelerator. The results indicate that the lifetime of the DLC stripper foils after relaxation is ~3 times of the DLC stripper foils before relaxation. The lifetime of DLC stripper foil is respectively 4 and 13 times of the carbon stripper foil for the $^{197}Au^-$ and $^{63}Cu^-$ ion beams (~9 Mv, ~1 μA). The lifetime of DLC stripper foil is 2.6-10 times of the carbon stripper foil for the $^{107}Ag^-$、$^{70}Ge^-$、$^{48}Ti^-$、$^{28}Si^-$ and $^{127}I^-$ion beams. The heavier ions and the stronger beam current, the longer lifetime of DLC stripper foil is compared with that of carbon stripper foil. The lifetime of the DLC stripper foils is related to the substrate bias voltage, and increases at first and then decreases with the increasing of the substrate bias voltage. The lifetime reaches the peak value when the substrate bias

voltage is -400 V.

Key words： diamond-like carbon；stripper foil；relaxation；lifetime